

gestern und heute: Schlaglichter auf 200 Jahre Physikalischer Verein 29

Vom Wetterhäuschen zur Wetterkarte 30
Wie der Physikalische Verein in Frankfurt am Main für Wetterberichte sorgte
Claudia Schüßler

Überwachung klimarelevanter F-Gase am Kleinen Feldberg 38
Das Taunus-Observatorium heute
Andreas Engel und Joachim Curtius

Anekdote: Expedition im Schneesturm 44

Der Augenblick des mittleren Mittags in Frankfurt 46
Zeitmessung in der Stadt durch den Physikalischen Verein
Kristina Odenweller

Vom Stern-Gerlach-Experiment zur Atomuhr 54
Zeitbestimmung heute
Andreas Bauch

Anekdote: Auszug aus einem Schreiben von Eduard Rüppell 62

Leopold Sonnemanns Vision 64
Die Internationale Elektrotechnische Ausstellung 1891
Markus Häfner

„Wir können die Energiewende schaffen, wenn wir wirklich zusammenarbeiten“ 74
Interview mit Energie-Expertin Britta Buchholz

Anekdote: Eine abenteuerliche Ballonfahrt 82

Publikumsmagnet: Die Ankunft des Zeppelins ZII 84
Die Internationale Luftschiffahrt-Ausstellung ILA von 1909
John Provan

Die Zukunft fliegt schon heute mit 96
Der Flughafen Frankfurt als Startbahn für Luftfahrt-Innovationen
Ulrike Corneliussen

Inhalt

Vorwort: Zukunft seit 1824 7
Dorothee Weber-Bruls

Anekdote: Gutachten im Auftrag der Stadt 10

Von Telefonen, Teleskopen und Zündhölzern 12
Der Physikalische Verein: Brücke zwischen Wissenschaft und Gesellschaft
Panagiotis Kitmeridis-Bondas

Vom Verein zur Fakultät 22
Der Physikalische Verein und die Gründung der Universität Frankfurt
Michael Maaser

Impressum

© 2024, Physikalischer Verein – Gesellschaft für Bildung und Wissenschaft, Frankfurt am Main

Herausgeber: Physikalischer Verein – Gesellschaft für Bildung und Wissenschaft, Frankfurt am Main, V.i.S.d.P. Prof.Dr.Dorothee Weber-Bruls, Präsidentin

Redaktion: Dr.Anne Hardy, Frankfurt am Main

Grafisches Konzept, Layout und Satz: Katja von Ruville, Frankfurt am Main

Illustrationen Cover und Innen: Jochen Thamm, Frankfurt am Main, siehe auch Bildnachweis

Bildbearbeitung: Fotosatz Amann, Memmingen

Bildrecherche: Lars Christian, Frankfurt am Main

Druck: Frankfurt Academic Press 2024

ISBN: XXXXXXXXXXXX

„Die schönsten Photographien, die mir zu Gesicht gekommen sind“ 106

Der Physikalische Verein und die medizinische Anwendung der Röntgenstrahlen in Frankfurt am Main (1896–1914)
Michael Sachs

„Das Interessante in der Radiologie ist die enorme Vielfalt“ 118

Interview mit Joachim Wolf, Chefarzt der Radiologie am Bürgerhospital

Anekdote: Albert Einstein in Frankfurt 124

Ein feiner Strahl aus Silber-Atomen 126

Otto Stern und seine Frankfurter Meilensteinexperimente
Horst Schmidt-Böcking

Gekühlte Teilchen in der Falle 136

Moderne Präzisionsmessungen mit dem kontinuierlichen Stern-Gerlach-Effekt
Klaus Blaum

Anekdote: Die Jahre 1933–1945 144

Der Vater der Schwarzen Löcher 146

Karl Schwarzschild: Pionier der modernen Astrophysik
Horst Schmidt-Böcking

Gibt es Eisdielen in Schwarzen Löchern? 154

Ein Gespräch über die Mysterien der Gravitation mit Astrophysiker Luciano Rezzolla

Anekdote: Späte Wiedergutmachung 162

Ich seh den Sternenhimmel 164

Populäre Astronomie im Physikalischen Verein
Bruno Deiss

Faszination Astronomie: Tor zur physikalischen Bildung 172

Wie der Physikalische Verein mit seinem Angebot auf globale Herausforderungen reagiert
Markus Röllig

Anekdote: Wie Otto Hahn zur Chemie kam 182

Anhang

187

Endnoten / Literatur 189

Abbildungsnachweis 198

Zukunft seit 1824

Dorothee Weber-Bruls

Der Physikalische Verein feiert sein 200-jähriges Bestehen am 24. Oktober 2024! In den vergangenen zwei Jahrhunderten hat der Verein eine faszinierende Reise mit den und durch die Wissenschaften unternommen. Dabei haben wir zahlreiche Entdeckungen, Innovationen und Erkenntnisse nicht nur begleitet, sondern zum Teil auch selbst aktiv vorangetrieben.

In dieser Festschrift erkunden wir die Vielfalt und den Facettenreichtum des Physikalischen Vereins, wie bei einem Kaleidoskop, das durch Drehen seiner Teile immer wieder neue Muster und Farben offenbart. Ganz bewusst finden Sie in dieser Festschrift jedoch nicht nur einen Rückblick auf vergangene Errungenschaften, sondern auch eine Brücke in die Gegenwart und Zukunft des Physikalischen Vereins und der Naturwissenschaften.

Doch beginnen wir mit der Vergangenheit: Gerne beziehen wir uns auf Johann Wolfgang von Goethe als Ideengeber des Physikalischen Vereins. Bei einer Reise „Am Rhein, Main und Neckar“ formulierte er 1814 folgenden Wunsch für seine Heimatstadt Frankfurt:¹

„Wäre es möglich, einen tüchtigen Physiker herbei zu ziehen, der sich mit dem Chemiker vereinigte und dasjenige heranbrächte, was so manches andere Kapitel der Physik, woran der Chemiker keine Ansprüche macht, enthält und andeutet; setzte man auch diesen in Stand, die zur Versinnlichung des Phänomens nötigen Instrumente anzuschaffen, so wäre in einer großen Stadt für wichtige, insgeheim immer genährte Bedürfnisse und mancher verderblichen Anwendung von Zeit und Kräften eine edlere Richtung gegeben.“

Einen Wunsch, den sich elf Frankfurter Bürger unter der Führung von Christian Ernst Neeff und Johann Valentin Albert zu Herzen nahmen, als sie am 24. Oktober 1824 den Physikalischen Verein gründeten. Der Geist des Vereins spiegelt sich in der Eröffnungsrede von Christian Ernst Neeff auf der Generalversammlung am 13. Oktober 1843 wie folgt wider:

„Zwei gefährliche Klippen, oder vielmehr Sandbänke haben wir glücklich umschiff. Die eine ist die Sucht, todte Sammlungen anzuhäufen: unsere Sammlungen greifen unmittelbar in das Leben der Wissenschaft ein, sie bieten dem Geiste Organe dar, womit er die Natur in ihrem geheimnisreichen Walten erfasse. Die andere Sandbank ist die Verlockung, den Geist der Wissenschaft in Knechtschaft zu führen zum Dienste der Industrie. Wohl wissen wir, was die Wissenschaft der mächtigen industriellen Bewegung unserer Zeit verdankt; wohl erkennen wir, daß die Wissenschaft schon aus Dankbarkeit dafür auch der Industrie ihre Schatzkammern zu eröffnen verbunden ist, und namentlich in unserer gewerbthätigen Stadt. Aber wir wissen auch, daß ein zu weites Verfolgen untergeordneter Zwecke leicht zu Ausschließlichkeit führt, und daß die Wissenschaft, wie der Dichter sagt, eine hehre Göttin ist, und nicht eine melkende Kuh.“

In diesem Sinne war der Physikalische Verein von Anfang an eine Gesellschaft, in der sich die Mitglieder gegenseitig über die neusten wissenschaftlichen Entdeckungen und Erfindungen austauschten, für die sie auch die Frankfurter Bürgerinnen und Bürger mit öffentlichen Vorträgen zu interessieren wussten. Diese offensichtlich sehr produktiven Diskussionen führten zu dem Physikalische Verein als Lehranstalt mit festangestellten Forschenden, vier eigenen Forschungsgebäuden sowie acht wissenschaftlichen Instituten. 1914 war der Physikalische Verein dann Mitstifter der Universität Frankfurt am Main. Viele Aufgaben, die der Physikalische Verein wahrgenommen hatte, sind heute Teil des universitären Forschungs- und Lehrbetriebs, während wir uns wieder vornehmlich dem

¹ Sämtliche Werke. Autobiographische Schriften. Band III. Insel Verlag, Leipzig 1909, S. 297

Wer die Kapitel der Festschrift chronologisch ordnet, wird dabei schnell eine letzte Lücke finden: die Zeit von 1933–1945. Es ist ein Versäumnis, dass bisher nicht erforscht ist, welche Auswirkungen das sogenannte Dritte Reich auf den Physikalischen Verein hatte, wie der Verein sich mit dem Regime arrangierte und welches Schicksal jüdische Mitglieder, Forschende und Gönner ereilte. Eine Lücke, die wir in einem eigenen Forschungsprojekt füllen werden. Erste Schritte dieses Projekts sind bereits unternommen. Die Ergebnisse werden gesondert veröffentlicht.

ursprünglichen Gründungsgedanken, „sich gegenseitig zu belehren“, zugewandt haben. Die heutigen komplexen Herausforderungen, aber auch Chancen, wie Klimawandel, Energiewende, künstliche Intelligenz und vieles mehr, erfordern eine enge Zusammenarbeit aller Forschenden und den Austausch von Ideen. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist neben Weiterbildung auch Transparenz. Die Arbeitsweise der Forschenden wollen wir erklären und Forschungsergebnisse kommunizieren, auch um Vertrauen zu schaffen.

Unsere Aufgabe sehen wir heute mehr denn je in der naturwissenschaftlichen Breitenbildung. Den Fokus legen wir dabei auf die Physik und die Astronomie, auch als „Einfallstor“ in die Welt der Wissenschaft. Zudem steht weiterhin (Amateur-)Forschung auf dem Programm, und zwar an drei eigenen Sternwarten: der historischen Sternwarte an unserem Sitz mitten in Frankfurt, der Hans-Ludwig-Neumann-Sternwarte im Taunus und einer fernsteuerbaren Sternwarte in Spanien.

Was erwartet Sie nun in der vorliegenden Festschrift? Betreten Sie unser Gebäude in der Robert-Mayer-Straße, fällt Ihnen am Eingang vielleicht unsere „Historic Site“-Plakette der Europäischen Physikalischen Gesellschaft auf. Diese Plakette kennzeichnet das Vereinsgebäude als historischen Ort und erinnert an die Leistungen der Frankfurter Physik, vornehmlich an das Meilensteinexperiment von Otto Stern und Walther Gerlach. Mit einem Dreh unseres Kaleidoskops, um bei diesem Bild zu bleiben, ergeben sich nun neue Facetten. Aus dem bei uns durchgeführten Stern-Gerlach-Experiment entstanden zahlreiche weitere Erkenntnisse und Experimente. Es ist damit die Grundlage für Atomuhren und Präzisionsmessungen geschaffen worden, und noch stets wird an Weiterentwicklungen geforscht.

Beispielhaft haben wir in dieser Festschrift sieben Experimente und Ereignisse, wie das Stern-Gerlach-Experiment, herausgesucht, an denen der Physikalische Verein und seine Mitglieder maßgeblich beteiligt waren. An einen historischen Blick schließt sich dabei jeweils ein Artikel an, der sich mit modernen Auswirkungen dieser Experimente und Ereignisse beschäftigt. So erwarten Sie in dieser Festschrift unter anderem die Beschreibung Schwarzer Löcher durch Karl Schwarzschild zu Beginn des letzten Jahrhunderts und Sie erfahren, wie die damalige Schwarzschild-Lösung heute bei der Beschreibung Schwarzer Löcher genutzt wird. Es geht um Wetterbeobachtungen und Vorhersagen im Laufe der Zeit; die Internationale Elektrotechnische Ausstellung Ende des 19. Jahrhunderts und eine Diskussion zur Energiewende; die Internationale Luftschiffahrt-Ausstellung zu Beginn des 20. Jahrhunderts und zukünftige vollelektrische Passagierflugzeuge am Flughafen Frankfurt; und um

medizinische Anwendungen von Röntgenstrahlen vor hundert Jahren und die heutige Radiologie. Auch der Geschichte der Sternbeobachtungen durch Mitglieder des Physikalischen Vereins und der aktuellen Positionierung des Vereins sind Kapitel dieser Festschrift gewidmet.

Bei der großen Bandbreite an Themen aus den vergangenen 200 Jahren konnten wir nicht alle berücksichtigen. Und so müssen wichtige Themen wie die Vorstellung des ersten Telefons von Philipp Reis im Verein auf zukünftige Veröffentlichungen verschoben werden. Auch konnten wir nicht alle (Ehren-)Mitglieder des Physikalischen Vereins, darunter Albert Einstein, Otto Hahn, Alexander von Humboldt und Ernst Abbe, vorstellen, deren Beiträge von unschätzbarem Wert sind.

Wer die Kapitel der Festschrift chronologisch ordnet, wird dabei schnell eine letzte Lücke finden: die Zeit von 1933–1945. Es ist ein Versäumnis, dass bisher nicht erforscht ist, welche Auswirkungen das sogenannte Dritte Reich auf den Physikalischen Verein hatte, wie der Verein sich mit dem Regime arrangierte und welches Schicksal jüdische Mitglieder, Forschende und Gönner ereilte. Eine Lücke, die wir in einem eigenen Forschungsprojekt füllen werden. Erste Schritte dieses Projekts sind bereits unternommen. Die Ergebnisse werden gesondert veröffentlicht.

Ich beende mein Grußwort nun mit dem Wunsch, dass diese Festschrift nicht nur eine Hommage an die Vergangenheit sein möge, sondern auch eine Einladung, den Geist des Forschens und Entdeckens weiterhin hochleben zu lassen und Ihre Neugierde zu wecken und zu nähren. In dem Streben nach Bildung, Wissenschaft und Forschung zum Einsatz für eine bessere Zukunft wird der Physikalische Verein auch in den kommenden 200 Jahren seine Rolle sehen.

Wir wünschen viel Freude bei der Lektüre dieser Festschrift, die das Motto des Physikalischen Vereins seit 200 Jahren widerspiegelt: „Zukunft seit 1824“



Unser Vereinshaus. Seit 1908 begrüßen wir hier unsere Mitglieder und Gäste.





Leopold Sonnemanns Vision

Die Internationale Elektrotechnische
Ausstellung 1891

Markus Häfner



Abb 1: Rundblick auf das Gelände der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Richtung Osten vom Aussichtsturm aus. Im Hintergrund Paulskirche und St. Bartholomäus.

Es ist kaum vorstellbar, dass Elektrizität und Strom vor 200 Jahren nicht mehr waren als eine wissenschaftliche Spielerei. Erst in den letzten beiden Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts wurden sie zum Motor der Industrialisierung, dienten als Lichtquelle städtischer Laternen und trieben Straßenbahnwagen an.¹¹¹ Möglich machte diesen Fortschritt auch ein bahnbrechendes Experiment auf der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung 1891 in Frankfurt. Die Idee für die Schau stammte von einem Mitglied des Physikalischen Vereins.

Frankfurt sondierte seit Mitte der 1880er-Jahre die Möglichkeiten und Risiken einer eigenen Stromversorgung. Nach dem Bau der ersten städtischen E-Werke wenige Monate zuvor in Berlin, Elberfeld und Lübeck intensivierte sich auch in der Mainmetropole die Überlegungen. Seinerzeit produzierten lediglich kleine Blockstationen Strom für die Beleuchtung weniger Restaurants und Hotels, Banken und Fabriken, Theater und Krankenhäuser. Der Magistrat schuf 1886 eine Elektrizitätskommission, die den Bau eines städtischen E-Werks zur Straßenbeleuchtung und zum Straßenbahnbetrieb prüfen sollte. Mit Diskussionen und Beschlüssen für Prüfverfahren vergingen drei weitere Jahre. Offen blieb jedoch die Entscheidung, Gleich- oder Wechselstromtechnik für das Stromsystem zu nutzen. Die Pioniere im E-Werk-Bau setzten zunächst auf ein Gleichstromnetz. Diese Lösung ermöglichte wegen des großen Spannungsverlusts lediglich einen Versorgungsradius weniger Kilometer. Die seit dem Ende der 1880er-Jahre praxistauglichen Wechselstromkraftwerke machten es möglich, Verbraucher im Radius von zehn Kilometern zu versorgen. Bei der Übertragung ging jedoch viel Energie verloren.¹¹²

Aufgrund der eingereichten Fachgutachten präferierte der Magistrat die Wechselstromtechnik. Doch

Zwischen der 1881 gegründeten Elektrotechnischen Gesellschaft, dem Physikalischen Verein und dem Organisationsausschuss der späteren Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung bestanden große personelle Schnittmengen.



Abb. 2: Die „Macher“ der Ausstellung: Oben Leopold Sonnemann, der Organisator, links Oscar von Miller, der technische Leiter und rechts Oscar Sommer, der Planungsleiter für die Bauten.

die Stadtverordneten lehnten den Vorschlag ab, da den Gleichstromfirmen eine erfolgreiche Einflussnahme zu ihren Gunsten gelungen war. Die Situation schien verfahren.¹¹³ Einen Ausweg fand Leopold Sonnemann (1831–1909), Gründer der Frankfurter Zeitung und seit 1849 Mitglied im Physikalischen Verein.¹¹⁴ Er stellte 1889 im Rahmen einer Versammlung der Frankfurter Elektrotechnischen Gesellschaft seine Idee einer elektrotechnischen Ausstellung vor. Mit einer solchen Technikschaу wollte er zur sachlichen Lösung der Debatte um Gleich- und Wechselstrom beitragen.

Von der Weltausstellung zur Technikschaу

Die Idee brachte Sonnemann von der zehnten Weltausstellung 1889 in Paris mit. In die französische Hauptstadt war er in seiner Funktion als Mitglied der Kommission zur Errichtung eines Elektrizitätswerks gereist. Ob ihn der Eiffelturm, das seinerzeit höchste Bauwerk der Welt, als Eingangstor zur Weltausstellung begeisterte, ist nicht überliefert. Doch die Schau selbst inspirierte Sonnemann wenig. Offenbar fühlte er sich von den mehr als 60 000 Ausstellern und der umfassenden Leistungsschaу von Industrie und Kunst überfordert. Vielmehr präferierte er kompaktere Fachausstellungen.¹¹⁵

Mit seiner Idee einer elektrotechnischen Fachausstellung traf Sonnemann in der Vereinssitzung der Elektrotechnischen Gesellschaft am 5. November 1889 auf breite Zustimmung. Bei einer zweiten Versammlung am 30. November fand der Vorschlag auch Zustimmung von Industriellen, Fachleuten und Mitgliedern anderer technischer Vereine. Mit der am 3. Dezember erfolgten Wahl zum Vorsitzenden des Vorstandes des Organisationsausschusses übernahm Sonnemann die weitere Planung der Ausstellung.¹¹⁶

Zwischen der 1881 im Anschluss an die erste Internationale Elektrizitätsausstellung in Paris gegründeten Elektrotechnischen Gesellschaft, dem Physikalischen Verein und dem Organisationsausschuss der späteren Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung bestanden große personelle Schnittmengen. Sonnemann, Stadtrat Anton Horkheimer (1849–1929), Ingenieur Eugen Hartmann (1853–1915), Mediziner Siegmund Stein (1840–1891), Franz Hasslacher und der Leiter der 1889 durch den Physikalischen Verein gegründeten Elektrotechnischen Lehranstalt Josef Epstein (1862–1930) waren Mitglieder in beiden Vereinigungen, Sonnemann und Horkheimer im Vorstand des Organisationsausschusses, Hasslacher und Epstein in deren erweitertem Ausschuss.¹¹⁷

Fortan fragten der 16-köpfige Vorstand und die Unterausschüsse Firmen an, ob sie Interesse hätten,



Abb. 3: Plakatwerbung für Fesselballonundflüge. Solche Passagierfahrten wurden im Rahmen der Ausstellung erstmalig angeboten.



„Wir können die Energiewende schaffen, wenn wir wirklich zusammenarbeiten“

Interview mit Energie-Expertin
Britta Buchholz

Anlass für die Internationale Elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt 1891 war die Frage, ob das geplante Frankfurter Elektrizitätswerk Gleichstrom oder Wechselstrom liefern sollte. Die 1886 gegründete Elektrizitätskommission des Magistrats war auch nach drei Jahren Beratung nicht zu einer Empfehlung gelangt. So hoffte der Stadtverordnete Leopold Sonnemann, mit der Technikschau zu einer sachlichen Lösung der Debatte beizutragen.

Aber schon in den 1870er-Jahren hatte Werner von Siemens „überall ein wildes Rennen auf dem Gebiet der Elektrotechnik“ beklagt und festgestellt: „Allen diesen Bestrebungen fehlt bisher ein ordnender, berichtiger Mittelpunkt.“ Um Abhilfe zu schaffen, wurde 1881 die Elektrotechnische Gesellschaft in Frankfurt gegründet, aus der zusammen mit anderen Gesellschaften und Vereinen 1893 der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) hervorgehen sollte. Der Vorsitzende der Frankfurter Elektrotechnischen Gesellschaft, Eugen Hartmann, engagierte sich ab 1884 zugleich im Physikalischen Verein.

Elektrische Energie aus Sonne und Wind wird zum Dreh- und Angelpunkt der neuen Energieversorgung.

Frage: Frau Buchholz, Sie sind seit Januar 2023 die Vorsitzende der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (VDE ETG), der über 9 000 Mitglieder angehören. Was sind deren Aufgaben und welche Fragen brennen Ihnen heute unter den Nägeln?

Buchholz: Die Energietechnische Gesellschaft steht für die nachhaltige Entwicklung der Energiesysteme in Deutschland. Wir bringen Expert:innen der Industrie, der Netzbetreiber und Energieversorger sowie Wissenschaftler:innen zusammen. Als neutrales Gremium schaffen wir eine Plattform für den Wissensaustausch und erarbeiten faktenbasierte Empfehlungen.

Aufgrund der aktuellen geopolitischen Ereignisse und der Klimaziele von Paris steht Energie mehr denn je im Fokus der ganzen Gesellschaft: Energiesicherheit, aber auch die Transformation der Energieversorgung hin zu erneuerbaren, CO₂-neutralen Energiequellen, vor allem Sonnen- und Windenergie. Elektrische Energie wird zum Dreh- und Angelpunkt der neuen Energieversorgung.

Frage: In ihrer Publikation „Zukunftsbild Energie“ gibt die ETG Empfehlungen zur Umsetzung der Energiewende. Halten Sie es für realistisch, diese Ziele bis 2050 umzusetzen? Und wenn ja, was sind die wichtigsten Schritte zum Erfolg?

Buchholz: Ich denke, die Frage stellt sich gar nicht, ob ich das für realistisch halte. Wir können es uns als Gesellschaft überhaupt nicht erlauben, es nicht zu schaffen. Und wir können es schaffen, wenn wir wirklich zusammenarbeiten. Wie schon gesagt, wird die Zukunft des Energiesystems elektrisch sein. Das heißt, wir müssen konzertierte Anstrengungen unternehmen, die verschiedenen Sektoren umzustellen, also die



Nicht nur die Erzeugung von Strom wird zur Herausforderung: das ganze Energiesystem muss mit den vielen dezentralen Erzeugern und neuen Verbrauchern stabil gehalten werden.

Wir brauchen weltweit um einen Faktor 3 bis 4 mehr elektrische Energie im gesamten Energiemix.

Mobilität, die Wärmeversorgung, aber auch die Industrie. Das ist eine riesige Aufgabe, weil wir einen um Faktoren größeren Bedarf an elektrischer Energie haben werden. Dazu müssen alle an einem Strang ziehen, und deswegen sind Verbände wie der VDE mit der Energietechnischen Gesellschaft darin so wichtig, weil hier die verschiedenen Stakeholder der Energiewende zusammenarbeiten und die Weichen richtig stellen können.

Uns ist es wichtig, dieses Wissen in die Gesellschaft zu tragen. In der ETG sind wir in einer Experten-Bubble. Wir müssen jetzt besser kommunizieren lernen, sodass es die ganze Gesellschaft versteht. Insbesondere diejenigen, die besonderen Einfluss auf Entscheidungen in der Bevölkerung haben und damit auch auf die Politiker:innen, die aber vielleicht nicht zur traditionellen VDE-Zielgruppe gehören.

Frage: Welche Herausforderungen stellen sich für die Stromübertragung und das Verteilnetz, wenn Elektrizität zum Rückgrat der Energieversorgung werden soll?

Buchholz: In der Vergangenheit haben wenige, sehr große Kraftwerke elektrische Energie bereitgestellt. Sie haben den Strom hauptsächlich auf hohen Spannungsebenen eingespeist, die elektrische Energie wurde übertragen und zu den Verbrauchern in den

Mittel- und Niederspannungsebenen verteilt.

Jetzt haben wir immer mehr ein System mit Millionen kleinen und kleinsten Kraftwerken, die dezentral elektrische Energie erzeugen. Also die vielen kleinen Hausdach-Solaranlagen oder auch die Windturbinen, zuerst onshore, dann die großen Offshore-Windparks. Dadurch ergibt sich, dass das ganze System anders gesteuert werden muss, weil man auf allen Spannungsebenen Einspeisung und Verbrauch hat und das System auch auf allen Spannungsebenen stabil gehalten werden muss.

Ich muss hier nochmal ausholen: Wenn wir CO₂-freie Energie haben wollen, nehmen wir dazu hauptsächlich elektrische Energie aus Sonne und Wind. Das bedeutet, dass wir weltweit um einen Faktor 3 bis 4 mehr elektrische Energie im gesamten Energiemix brauchen. Und diese Energie muss vom Ort der Erzeugung dahin kommen, wo sie gebraucht wird. Das sind gigantische Aufgaben. Es bedeutet eine komplette Transformation des Energiesystems und das Ganze im laufenden Betrieb.

Frage: Nehmen wir mal ein Beispiel: In der Sahara gibt es sehr viele Sonnenstunden. Man könnte da riesige Photovoltaikanlagen bauen, aber wie kriegt man den Strom dahin, wo er gebraucht wird? Ist das die Art von Fragen, an denen Sie arbeiten?

Buchholz: Das ist ein Projekt, das ein Konsortium untersucht hat, an dem wir als Hitachi Energy auch beteiligt waren. Es gibt ein paar Rahmenbedingungen, die nicht unbedingt dafür sprechen. Aber technisch wäre es möglich, mit dem Strom, den man vor Ort gewinnt, Wasserstoff zu erzeugen, den man über Pipelines nach Europa bringt.

Weitaus realistischer ist es, dass wir den Strom aus Offshore-Windparks aus der Nordsee bekommen. Die EU-Strategie sieht vor, bis 2050 insgesamt 300 Gigawatt an Offshore-Windkraftwerken in der Nordsee zu installieren. Zur Orientierung: Zurzeit hat Deutschland eine Spitzenlast von 80 Gigawatt. Das ist das Modell, das wir als realistisch ansehen. Von dort müssen wir den Strom in die Industriezentren transportieren, hauptsächlich nach Süddeutschland.

Aber man hat genauso diese Millionen von kleinen Solaranlagen, die Privatpersonen gehören und deren Leistung man über Digitalisierung auch steuern können muss. Man muss mit den Netzbetreibern und allen Beteiligten entsprechende Konzepte umsetzen, sodass die Balance von Angebot und Nachfrage automatisiert erfolgt. Das geht nicht mehr so wie früher, dass ein Kraftwerksbetreiber den anderen anruft, um sich abzustimmen.

Ein wichtiger Aspekt für unsere Stabilität ist, dass die Frequenz gehalten wird. Wir haben in ganz Europa eine Frequenz von 50 Hertz. Wenn wir zu viel Energie erzeugen, dann steigt die Frequenz. Das kann man sich vorstellen wie bei einem Generator, der zu schnell dreht, weil zu wenig Last angeschlossen ist. Und die Frequenz sinkt, wenn zu viel Last da ist und zu wenig Erzeugung. Die Übertragungsnetzbetreiber sind dafür verantwortlich, dass diese 50 Hertz jederzeit gehalten werden.

In den Verteilnetzen ist die Herausforderung eine ganz andere. In den Regionen, Städten und Dörfern ist das Problem eher Spannungshaltung oder eine thermische Überlastung. Hier ein anschauliches Beispiel: Die Kabel und auch die Transformatoren in Wohngebieten sind dafür ausgelegt, dass sie Häuser versorgen, die gleichzeitig vielleicht je 3 Kilowatt (kW) Leistung nutzen. Sie sind pro Einfamilienhaus im Schnitt ausgelegt auf 10 Kilowatt Spitzenleistung. Jetzt kommt eine Solaranlage dazu, die mit 5 bis 10 kW einspeist. Auf der Verbrauchsseite eine Wallbox – bis zu 11 kW Spitzenlast – und dann noch die Wärmepumpe – etwa 6 kW Spitzenlast.

Das heißt, plötzlich ändert sich die Belastung der Kabel, zumindest, wenn alle Verbraucher gleichzeitig ihre Spitzenlast ziehen. Sie sind möglicherweise zu dünn, oder die Transformatoren des Wohngebiets könnten überhitzt werden. Deswegen muss man

jetzt nachrechnen, welches Verteilnetz welche neuen Erzeugungsanlagen, aber auch Wärmepumpen und Wallboxen verträgt. Wir brauchen Digitalisierung, damit die Verbraucher sich automatisch der volatilen Erzeugung anpassen – dann werden die Kabel und Transformatoren weniger belastet.

Frage: Das hängt auch mit der Frage zusammen, wie man die erneuerbaren Energien speichern kann, weil man sie ja nicht immer dann braucht, wenn zum Beispiel gerade viel Wind da ist. Muss man die Windräder dann abschalten?

Buchholz: Der beste Speicher ist unser europäisches Stromnetz. Wenn wir das Übertragungsnetz so ausbauen, dass der Ausgleich in Europa erfolgen kann, ist das zugleich auch die günstigste Variante. Wenn zum Beispiel Wind in der Nordsee bläst und woanders weniger, dann kann der Strom von der Nordsee dorthin kommen oder umgekehrt. Über ganz Europa besteht eine gute Ausgeglichenheit von Solar- und Windenergie. Deshalb ist das Netz die erste Priorität.

Bei der thermischen Überlastung oder der Spannungshaltung ist es wichtig, dass man mit Haus- oder Quartiersspeichern arbeitet. Wenn zum Beispiel meine Anlage zuhause mittags viel Strom erzeugt, geht er zuerst in die Lasten des Hauses: Wäsche waschen, Spülmaschine, Kochen, was auch immer. Erst dann geht der Strom in die Speicher. Sind die voll, wird unser Auto geladen. Es ist angeschlossen, wann immer es geht. Nur wenn unser Auto nicht da ist und die Batterie voll ist und wir nichts verbrauchen, dann erst sieht der Netzbetreiber unseren Strom.

Frage: Und wie ist es umgekehrt, wenn es eine „Dunkelflaute“ gibt? Die Skeptiker befürchten ja, dass wir, wenn im Winter wenig Sonne scheint und gleichzeitig der Wind nicht weht, keinen Strom haben werden.

Buchholz: Es müsste schon eine europäische Dunkelflaute sein. In Europa gleicht sich das Wetter typischerweise über mehrere Länder aus. Eine Wind-Flaute ist natürlich kritisch und deswegen brauchen wir auch weiterhin Molekül-basierte Speicher. Denn Dunkelflauten über mehrere Tage kann man mit Lithium-Ionen-Speichern nicht überbrücken, sondern nur sehr kurze Zeiten.

Ich hatte ja schon Wasserstoff angesprochen. Zwar ist es nicht besonders effizient und auch kostspielig, mit elektrischer Energie Wasserstoff zu erzeugen und bei Bedarf wieder in Strom zurückzuverwandeln. Aber wenn man den elektrischen Strom gerade nicht verbrauchen kann und solche Dunkelflauten überbrücken muss, dann macht Wasserstoff absolut Sinn.

Eine andere Möglichkeit sind Pumpspeicherkraftwerke, in denen man das Wasser gegen die Schwerkraft